

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ФИЛИАЛ ПГУПС

ОДОБРЕНО

на заседании цикловой комиссии ЕН

протокол № 1 от 11.09. 2017г.

Председатель цикловой комиссии:

Или Писарева А.С.

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО

А.В. Калько А.В. Калько  
«18» 09 2017г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по организации и проведению практических работ**

По учебной дисциплине: **Астрономия**

Специальности:

- 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)
- 08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство
- 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог
- 23.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте (по видам)
- 09.02.02 Компьютерные сети

Разработчик: **Масайлова Т.А.**

Петрозаводск  
2017

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Астрономия – древняя и прекрасная наука о Вселенной, безграничном и постоянно меняющемся мире, включающем в себя огромную область, доступную современным наблюдениям. Это и Солнце с планетами, и звезды, и галактики, и многочисленные системы, образуемые ими, и разреженная среда, в которой все они находятся.

За свою длительную историю астрономические наблюдения были необходимы и для определения продолжительности года, времени наступления того или иного сезона, и для установки системы счета времени, и для прокладывания курса кораблей в открытом море... Сегодня многие эти проблемы решаются техническими средствами. Но современная астрономия отнюдь не оторвана от жизни. Задачи, требующие наиболее высокой точности измерений, и в настоящее время решаются с привлечением новейших методов астрономии.

Понять природу наблюдаемых тел и явлений во Вселенной, их возникновение и развитие, дать объяснения их свойствам, используя знания естественных наук, физико-математическое и философское образование - задача курса.

Данные методические указания будут способствовать закреплению у студентов теоретических знаний и выработке практических навыков в определении местоположения, времени и физических характеристик небесных объектов. Они разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Астрономия» и предназначены для выполнения практических работ обучающимися.

В результате освоения содержания учебной дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов:

- сформированность представлений о строении Солнечной системы, эволюции звезд и Вселенной, пространственно-временных масштабах Вселенной;
- понимание сущности наблюдаемых во Вселенной явлений;
- владение основополагающими астрономическими понятиями, теориями, законами и закономерностями, уверенное пользование астрономической терминологией и символикой;
- сформированность представлений о значении астрономии в практической деятельности человека и дальнейшем научно-техническом развитии;
- осознание роли отечественной науки в освоении и использовании космического пространства и развитии международного сотрудничества в этой области.

В методических указаниях предусмотрено использование персонального компьютера обучающимися в ходе проведения практической работы по теме «Исследование солнечной активности».

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

П/п	Название практических работ	Раздел, тема	Количество часов
1.	<b>Практическая работа № 1</b> «Звездные атласы, подвижная карта звездного неба, астрономический календари и справочники»	<b>Раздел 2.</b> <b>Основы практической астрономии.</b> <b>Тема 2.1</b> Созвездия. Звездные карты. Небесные координаты	2
2.	<b>Практическая работа № 2</b> «Изучение система счета времени»	<b>Раздел 2.</b> <b>Основы практической астрономии.</b> <b>Тема 2.3</b> Видимое движение Солнца и Луны. Движение Земли вокруг Солнца. Время и календарь	2
3.	<b>Практическая работа № 3</b> «Изучение закона Кеплера и конфигурации планет»	<b>Раздел 3.</b> <b>Законы движения небесных тел.</b> <b>Тема 3.2.</b> Законы Кеплера	2
4.	<b>Практическая работа № 4</b> «Исследование солнечной активности»	<b>Раздел 6.</b> <b>Звезды.</b> <b>Тема 6.4.</b> Солнце – ближайшая звезда	2

## КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

При оценке освоенных умений при выполнении практических работ применяется дихотомическая шкала оценивания.

Оценивание практических работ производится в соответствии со следующими нормативными актами:

- Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся;
- Положение о планировании, организации и проведении лабораторных работ и практических занятий.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

### ЗВЕЗДНЫЕ АТЛАСЫ, ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА, АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КАЛЕНДАРИ И СПРАВОЧНИКИ

**Цель работы:** ознакомление с содержанием звездных атласов и их использованием при изучении звездного неба. Использование подвижной карты при изучении звездного неба. Ознакомление с содержанием и использованием астрономических календарей и справочников.

**Оборудование** Атлас звездного неба А. А. Михайлова, Астрономический календарь (постоянная и переменная части), подвижная карта звездного неба, школьный астрономический календарь. Электронные справочники и базы данных.

**Вопросы к допуску:**

1. Понятие созвездия.
2. Устройство и назначение подвижной карты звездного неба.
3. Астрономические календари.

#### *Основные теоретические сведения*

*Звездные атласы* служат пособием при изучении звездного неба и при выполнении научно-исследовательских работ по астрономии. На каждой карте атласа изображен определенный участок звездного неба, спроектированный на плоскость. Атлас звездного неба А. А. Михайлова состоит из 20 карт и содержит все звезды обоих полушарий до 6,5 звездной величины. Координаты звезд даны для эпохи 1950 года. К атласу прилагается общий каталог звезд, который содержит не только координаты звезд, но также их видимую звездную величину и тип спектра.

Видимый блеск звезд различен и выражается в условных единицах, называемых звездными величинами ( $m$ ). Наиболее яркие звезды считаются звездами нулевой видимой звездной величины ( $0^m$ ). Звезды, блеск которых приблизительно в 2,5 раза слабее блеска звезд  $0^m$ , считаются звездами первой видимой величины ( $1^m$ ). На пределе видимости невооруженным глазом находятся звезды 6-й видимой звездной величины ( $6^m$ ), которые слабее звезд 1-й видимой звездной величины в 100 раз.

*Поправка на прецессию.* Вследствие возмущающего действия, оказываемого на вращение Земли Луной и Солнцем, ось вращения Земли совершает в пространстве очень сложное движение. Она медленно описывает конус, оставаясь все время наклоненной к плоскости движения Земли под углом около  $66^{\circ},5$ . Это

движение называется *прецессионным*, период его около 26 000 лет. Оно определяет среднее направление оси в пространстве в различные эпохи.

Вследствие изменения положения земной оси в пространстве из-за явления прецессии меняет свое положение ось мира и небесный экватор. Сетка экваториальных координат, связанная с небесным экватором, медленно поворачивается в пространстве, изменяются экваториальные координаты звезд.

Чтобы определить координаты звезд в произвольный год, нужно к координатам звезды, данным в каталоге на 1950 г., прибавить изменение координат вследствие прецессии за столько лет, сколько прошло с 1950 г. до данного года. Для этой цели служит таблица прецессии за 100 лет, имеющаяся в звездном каталоге. Поправка по прямому восхождению на 100 лет  $\Delta\alpha_{100}$  находится по значению  $\alpha_{1950}$  и  $\delta_{1950}$ ;  $\delta_{1950}$  определяет нужную строку,  $\alpha_{1950}$  — нужный столбец. Поправка на данный год находится из соотношения:

$$\Delta\alpha_n = \Delta\alpha_{100} \cdot n/100,$$

где  $n$  — количество лет, прошедшее с 1950 года. Поправка по склонению на 100 лет находится по значению  $\alpha_{1950}$ . Дальнейшие операции аналогичны предыдущим.

*Подвижная звездная карта* служит пособием для общей ориентировки на небе. Пользуясь ею, можно решить целый ряд задач и, в частности, определить расположение созвездий относительно истинного горизонта. На карте изображены: сетка небесных экваториальных координат и основные созвездия, состоящие из сравнительно ярких звезд. Карта составлена в проекции, в которой небесные параллели изображаются концентрическими окружностями, а круги склонения — лучами, выходящими из северного полюса мира, расположенного в центре карты. Рядом с ним находится звезда  $\alpha$  Малой Медведицы, называемая Полярной звездой.

Круги склонения проведены через  $15^\circ$  ( $1^h$ ) и оцифрованы в часах по одной из небесных параллелей вблизи внутреннего обреза карты. Небесный экватор и три небесных параллели в  $30^\circ$  оцифрованы в точках их пересечения с начальным кругом склонения ( $\alpha = 0^h$ ) и с диаметрально противоположным ему кругом склонения ( $\alpha = 12^h$ ). Оцифровка кругов склонения и небесных параллелей позволяет грубо оценивать значения экваториальных координат небесных светил. Эксцентрический овал, пересекающийся с небесным экватором в двух диаметрально противоположных точках, изображает эклиптику.

Область карты, заключенная внутри небесного экватора, представляет северную небесную полусферу. По наружному обрезу карты, называемому лимбом дат, нанесены календарные числа и названия месяцев года. Накладной круг, прилагаемый к карте, позволяет установить вид звездного неба для любого времени суток произвольного дня года. Для этого внешний обрез круга, называемый часовым лимбом, разделен на 24 часа, по числу часов в сутках.

Часовой лимб оцифрован в системе среднего времени. В накладном круге имеется вырез, положение которого определяется географической широтой места наблюдения. Контур овального выреза изображает истинный, или математический горизонт, на котором нанесены названия четырех его главных точек — точек



юга, запада, севера и востока. Прямая, соединяющая точки севера и юга, изображает небесный меридиан. Положение зенита определяется точкой пересечения этой прямой с небесной параллелью, склонение которой равно широте места наблюдения.

Подвижная карта звездного неба позволяет приближенно решать ряд задач практической астрономии. Например, чтобы определить вид звездного неба в некоторый момент времени заданного дня года, нужно наложить накладной круг concentрично на звездную карту, чтобы штрих часового лимба, указывающий данный момент времени, совпал со штрихом заданной даты, а небесный меридиан всегда проходил через северный полюс мира. Тогда внутри овального выреза окажутся те звезды, которые в заданный момент времени видны над горизонтом.

Светила, которые окажутся на прямой, соединяющей точки севера и юга, проходят в данный момент через меридиан, т.е. кульминируют. В верхней кульминации будут те светила, которые располагаются на этой прямой между северным полюсом мира и точкой юга. Те светила, которые располагаются на небесном меридиане между северным полюсом мира и точкой севера, находятся в данный момент в нижней кульминации.

С помощью подвижной карты звездного неба можно получить положение Солнца на любой день года. Для этого необходимо соединить прямой полюс мира со штрихом, отмечающим заданную дату месяца. Точка пересечения этой прямой с эклипстикой и будет местом нахождения на небе Солнца в данный день года.

*Астрономические календари* содержат сведения, необходимые для астрономических наблюдений, их обработки и решения многих других задач. По содержанию астрономические календари делятся на две группы. Первая содержит краткое изложение теоретических основ различных разделов астрономии, справочные таблицы и сведения постоянного характера. К этой группе принадлежит "Астрономический календарь (постоянная часть) ВАГО". Справочные сведения постоянного характера содержатся в "Справочнике любителя астрономии" П.Г. Куликовского, в различных каталогах и справочных таблицах. В последнее время появилось много электронных справочников, таблиц и баз данных.

К другой группе астрономических календарей относятся астрономические ежегодники, содержащие сведения об астрономических явлениях текущего года: "Астрономический календарь-ежегодник (переменная часть) ВАГО", "Астрономический ежегодник", "Авиационный астрономический ежегодник" и др. Существует много астрономических программ для ЭВМ, позволяющих находить различную информацию о небесных явлениях в нужный момент времени.

## Порядок выполнения работы:

1. Установить подвижную карту звёздного неба на день и час занятий и указать расположение созвездий на небесном своде, отдельно отметив восходящие и заходящие в это время созвездия.

1. Дата

Момент времени T=

Расположение созвездий						
Вблизи зенита	На юге	На западе	Заходят	На севере	На востоке	Восходят

2. Определить день года, в который в 8<sup>h</sup>30<sup>m</sup> вечера в верхней кульминации находится звезда: 1) Вега; 2) Альдебаран; 3) Арктур; 4) Денеб; 5) Капелла; 6) Алголь; 7) Спика; 8) Регул.
3. Определить дату, в которую та же звезда, в тот же момент суток находится в нижней кульминации.

Название звезды	Обозначение звезды в созвездии	Момент времени	Дата	
			Верхняя кульминация	Нижняя кульминация

4. В дни 21 марта, 22 июня, 23 сентября, 22 декабря найти моменты времени восхода, верхней кульминации, захода и нижней кульминации звезды: 1) Альтаира; 2) Сириуса; 3) Поллукса; 4) Ригеля; 5) Антареса; 6) Бетельгейзе; 7) Прокциона; 8) Кастора.

Название звезды	Обозначение звезды в созвездии	Дата	Моменты времени			
			Восход	Верхняя кульминация	Заход	Нижняя кульминация

5. На карте звездного неба Андромеду – и определить приблизительно небесные координаты  $\beta$ -Андромеды (склонение и прямое восхождение).
6. Найти на карте звездного неба созвездия Малой Медведицы, Большой Медведицы, Большого Пса, Тельца, Кассиопеи. Изобразить их.
7. Сделайте вывод о проделанной работе.

## ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ СЧЕТА ВРЕМЕНИ

**Цель работы:** изучение различных систем счета времени.

**Оборудование:** модель небесной сферы, астрономический календарь (постоянная и переменная части), подвижная звездная карта.

**Вопросы к допуску:**

1. Понятие звездного времени.
2. Среднее и истинное солнечное время.
3. Уравнение времени.
4. Связь местного времени с географической долготой.

### *Основные теоретические сведения*

Измерение времени основано на наблюдениях суточного вращения небесного свода и годового движения Солнца, т.е. на вращении Земли вокруг оси и на обращении Земли вокруг Солнца.

Вращение Земли вокруг оси происходит почти равномерно, с периодом, равным периоду вращения небесного свода. Поэтому по углу поворота Земли от некоторого начального положения можно судить о протекшем времени. За начальное положение Земли принимается момент прохождения плоскости земного меридиана места наблюдения через избранную точку на небе, или, что одно и то же, момент верхней кульминации этой точки на данном меридиане.

Продолжительность основной единицы времени, называемой сутками, зависит от избранной точки на небе. В астрономии за такие точки принимаются:

- точка весеннего равноденствия (*звездное время*),
- центр видимого диска Солнца (*истинное Солнце*, истинное солнечное время),
- *среднее Солнце* — фиктивная точка, положение которой на небе может быть вычислено теоретически для любого момента времени (среднее солнечное время).

Для измерения длинных промежутков времени служит тропический год, основанный на движении Земли вокруг Солнца.

*Тропический год* — промежуток времени между двумя последовательными прохождениями центра истинного Солнца через точку весеннего равноденствия. Содержит 365,2422 средних солнечных суток.



Из-за медленного движения точки весеннего равноденствия навстречу Солнцу, вызванного прецессией, относительно звезд Солнце оказывается в той же точке неба через промежуток времени на 20 мин. 24 с. больший, чем тропический год. Он называется *звездным годом* и содержит 365,2564 средних солнечных суток.

*Звездное время.* Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же географическом меридиане называется *звездными сутками*.

За начало звездных суток на данном меридиане принимают момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия.

Время, протекшее от верхней кульминации точки  $\Upsilon$  до любого другого ее положения, выраженное в долях звездных суток, называется *звездным временем*  $S$ .

Угол, на который Земля повернется от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до какого-нибудь другого момента, равен часовому углу точки  $\Upsilon$  в этот момент.

$$S = t_{\Upsilon}.$$

Практически для установления начала звездных суток или звездного времени в какой-то момент надо измерить часовой угол  $t$  какого-либо светила  $M$ , прямое восхождение которого известно. Тогда звездное время:

$$S = \alpha + t,$$

где  $t = \angle Qm$ ,  $\alpha = \angle \Upsilon m$ , а  $t_{\Upsilon} = \angle Q\Upsilon = S$ .

*Звездное время* в любой момент равно прямому восхождению какого-либо светила плюс его часовой угол. В момент верхней кульминации светила его часовой угол  $t = 0$ , тогда  $S = \alpha$ .

Звездное время для наблюдателей, находящихся на разных меридианах, будет разным. Разность звездного времени в двух пунктах земной поверхности в один и тот же физический момент равна разности *географических долгот* этих пунктов.

$$S_2 - S_1 = \lambda_2 - \lambda_1.$$

*Истинное солнечное время.* Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями Солнца (центра солнечного диска) на одном и том же географическом меридиане называется *истинными солнечными сутками*. За начало истинных солнечных суток на данном меридиане принимают момент нижней кульминации Солнца (*истинная полночь*).

Время, протекшее от нижней кульминации Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях истинных солнечных суток называется *истинным солнечным временем*  $T_c$ .

Истинное солнечное время  $T_c$  на данном меридиане в любой момент:

$$T_c = t_c + 12^h,$$

где  $t_c$  – часовой угол Солнца.

Истинные солнечные сутки имеют различную продолжительность, так как:

1. Солнце движется не по небесному экватору, а по эклиптике, наклоненной к экватору под углом  $23^{\circ}26'$ .
2. Движение Солнца по эклиптике неравномерно.

*Среднее солнечное время.* Чтобы получить сутки постоянной продолжительности и в то же время связанные с движением Солнца, в астрономии введены понятия двух фиктивных точек — среднего эклиптического и среднего экваториального Солнца.

Среднее эклиптическое Солнце равномерно движется по эклиптике со средней скоростью Солнца.

Среднее экваториальное Солнце равномерно движется по экватору с постоянной скоростью среднего эклиптического Солнца и одновременно с ним проходит точку весеннего равноденствия.

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального Солнца на одном и том же географическом меридиане называется *средними солнечными сутками*.

Продолжительность средних солнечных суток равна среднему значению продолжительности истинных солнечных суток за год.

За начало средних солнечных суток на данном меридиане принимают момент нижней кульминации среднего экваториального Солнца (*средняя полночь*).

Время, протекшее от нижней кульминации среднего экваториального Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях средних солнечных суток, называется *средним солнечным временем*  $T_m$ .

Среднее солнечное время  $T_m$  на данном меридиане в любой момент:

$$T_m = t_m + 12^h,$$

где  $t_m$  — часовой угол Солнца.

Разность между средним и истинным солнечным временем в один и тот же момент называется *уравнением времени*  $\eta$

$$\eta = T_m - T_c = t_m - t_c = \alpha_c - \alpha_m,$$

где  $t$  — часовой угол, а  $\alpha$  — прямое восхождение.

Отсюда следует

$$T_m = T_c + \eta = t_c + 12^h + \eta.$$

Уравнение времени обращается в нуль около 15 апреля, 14 июля, 1 сентября и 24 декабря, и четыре раза в году принимает экстремальные значения, из них наиболее значительные около 11 февраля ( $\eta = +14^m$ ) и 2 ноября ( $\eta = -16^m$ ).

Уравнение времени публикуется в астрономических календарях - ежегодниках ВАГО для каждой средней полуночи на меридиане Гринвича. Если в календаре дан момент верхней кульминации центра истинного Солнца, то имея

в виду, что этот момент дан по среднему времени, и что в данный момент истинное солнечное время равно  $12^h$ , получим уравнение:

$$\eta = T_m - 12^h.$$

**Всемирное время.** Местное среднее солнечное время гринвичского меридиана называется *всемирным, или мировым временем*  $T_0$ .

Местное среднее солнечное время любого пункта на Земле определяется:

$$T_m = T_0 + \lambda^h,$$

где  $\lambda^h$  – долгота данного пункта, выраженная в часовой мере (h).

**Поясное время.** Местных систем счета времени бесчисленное множество, как и меридианов.

В 1884 году была предложена поясная система счета среднего времени. Счет времени ведется только на 24 основных географических меридианах, расположенных друг от друга по долготе точно через  $15^\circ$ , приблизительно *посередине* каждого часового пояса. *За основной меридиан нулевого пояса принят Гринвичский.*

Местное среднее солнечное время основного меридиана какого-либо часового пояса называется *поясным временем*  $T_n$ . Связь поясного времени с местным и всемирным выражается следующим образом:

$$T_m - T_n = \lambda^h - n^h,$$

$$T_n = T_0 + n^h$$

где  $n^h$  – число целых часов, равное номеру часового пояса (долгота основного меридиана часового пояса).

**Декретное время.** В целях более рационального распределения электроэнергии, идущей на освещение предприятий и жилых домов, в летнее время вводят летнее время. В СССР 16.07.1930г. декретом правительства стрелки часов перевели на 1 час вперед против поясного времени.

## Порядок выполнения работы:

	1 вариант	2 вариант
<b>Решите задачи</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Самолет вылетел из Читы ( 8-й часовой пояс ) в Мурманск ( 2-й часовой пояс ) в 15 ч по местному времени. Время полета из Читы до Мурманска 5 ч. Сколько времени будет в Мурманске, когда самолет приземлится?</li> <li>2. Определите, когда по московскому времени совершит посадку в Москве ( 2-й часовой пояс ) самолет, вылетевший из Екатеринбурга ( 4-й часовой пояс ) в 11 ч по местному времени и находившийся в полете 2 ч.</li> <li>3. Определите местное время во Владивостоке, если в Москве 3 часа 40 минут.</li> <li>4. Фёдор Александрович Бредихин (русский астроном, изучал кометы и создал теорию, объясняющую движение вещества в хвостах комет) родился 26 ноября 1831 года по старому стилю (юлианскому). Какова дата его рождения по новому стилю?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определите, когда по московскому времени совершит посадку в Москве ( 2-й часовой пояс ) Самолет, вылетевший из Новосибирска ( 5-й часовой пояс ) в 11 ч по местному времени и находившийся в полете 5 ч.</li> <li>2. Самолет вылетел в 9 ч из Москвы ( 2-й часовой пояс ) в Якутск ( 8-й часовой пояс ) .Когда по местному времени совершит посадку в Якутске самолет, находившийся в полете 5 ч?</li> <li>3. Определите местное время в Иркутске, если в Москве 4 часа 45 минут.</li> <li>4. Сергей Константинович Всехсвятский (советский ученый, который предсказал существование колец вокруг Урана и Юпитера) родился 20 июня 1905 года по новому стилю (григорианскому). Какова дата его рождения по старому стилю?</li> </ol>
<b>Ответьте на вопросы</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чем объясняется введение поясной системы счета времени?</li> <li>2. Какое наибольшее число воскресений может быть в феврале? Объясните.</li> <li>3. В чем заключаются трудности составления точного календаря?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чем отличается счет високосных лет по старому и новому календарю?</li> <li>2. Сколько раз в году восходит Солнце? Объясните.</li> <li>3. Почему в качестве единицы времени используется атомная секунда?</li> </ol>
<b>Сделайте вывод по проделанной работе</b>		



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

### ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ КЕПЛера И КОНФИГУРАЦИИ ПЛАНЕТ

**Цель работы:** изучение закономерностей в движении планет и вычисление их конфигураций с помощью модели Солнечной системы.

**Оборудование:** модель Солнечной системы, астрономический календарь (постоянная часть), астрономический календарь-ежегодник.

**Вопросы к допуску:**

1. Формулировка законов Кеплера.
2. Эклиптическая система координат.
3. Конфигурации планет.

#### *Основные теоретические сведения*

Движение планет вокруг Солнца описывается законами Кеплера, которые были сформулированы Иоганном Кеплером так:

1. *Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце.*
2. *Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равновеликие площади.*
3. *Квадраты сидерических периодов обращений планет вокруг Солнца пропорциональны кубам больших полуосей их эллиптических орбит.*

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где  $T_1, T_2$  — сидерические периоды обращений планет,  $a_1, a_2$  — большие полуоси их орбит.

Если большие полуоси орбит выразить в единицах среднего расстояния от Земли до Солнца (в а.е.), а периоды обращений в годах, то для Земли  $a = 1$ ,  $T = 1$ , и период обращения любой планеты вокруг Солнца равен:

$$T = \sqrt{a^3}.$$

Благодаря работам И. Ньютона получены обобщенные законы Кеплера, которые в настоящее время имеют вид:

1. *Под действием силы притяжения одно небесное тело движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболу.*

Эта формулировка подходит для описания движения всех небесных тел: спутников, комет, двойных звезд и др.

2. Площадь, описанная радиусом вектором за единицу времени есть величина постоянная.

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = const,$$

где  $\theta$  — полярный угол (истинная аномалия).

3.

$$\frac{T_1^2 (M_1 + m_1)}{T_2^2 (M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где  $M$  и  $m$  — массы центрального тела и спутника, индексы 1 и 2 относятся к различным парам “тело-спутник”.

В данной работе предполагается проверка третьего закона Кеплера в первом приближении, при этом можно считать орбиты планет круговыми и лежащими в одной плоскости.

При своём движении по орбитам планеты могут занимать различные положения относительно Солнца и Земли. Эти положения называются конфигурации. Конфигурации различаются для нижних и для верхних планет. Нижними являются планеты, находящиеся ближе к Солнцу, чем Земля, верхними — те, которые дальше.

Для нижних планет выделяют конфигурации: нижнее и верхнее соединение с Солнцем, наибольшая западная и восточная элонгации. Слово элонгация означает удаление. Смысл двух элонгаций заключается в том, что если мы будем наблюдать нижние планеты с Земли, то они будут находиться на самом большом угловом расстоянии от Солнца. Когда планета находится в соединении, то она с Земли не наблюдается, так как максимально сближается с Солнцем и теряется в его лучах.

Конфигурации для верхних планет несколько иные. Верхние планеты имеют соединение, противостояние (оппозицию), западную и восточную квадратуру. Смысл этих конфигураций можно понять аналогично, как и для нижних

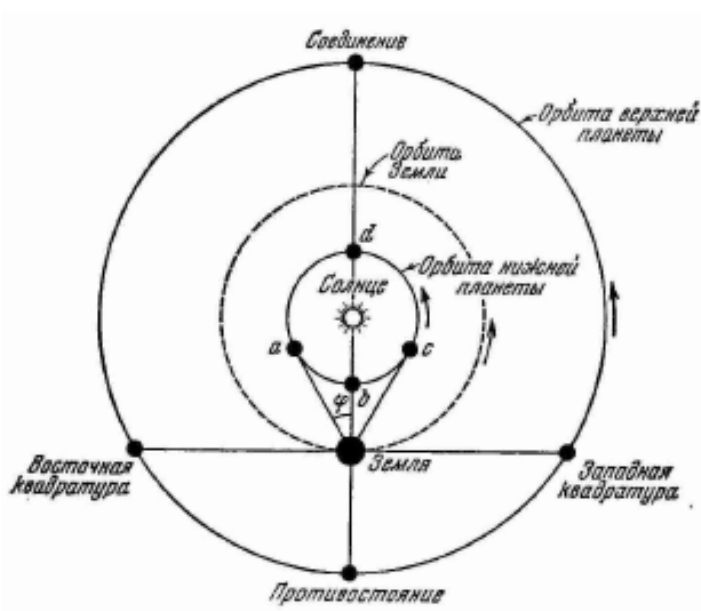


Рис.6  
Конфигурации планет

планет. Соединение означает соединение с Солнцем при наблюдении планеты с Земли. Значит, во время нахождения планеты в этой конфигурации, она наблюдаться не может, так как теряется в солнечных лучах. В противостоянии, наоборот, планета будет видна лучше всего, так как противостоит Солнцу, а значит наблюдается на обратной стороне неба. В это время планета ближе всего подходит к Земле и видна почти всю ночь. Нижняя планета находится ближе всего к Земле в момент нижнего соединения и дальше всего в момент верхнего. Верхняя планета приближается в момент противостояния и удаляется в момент соединения.

Прямые и попятные движения планет объясняются различием орбитальных линейных скоростей планеты и Земли, а также различными радиусами орбит планет, и могут быть поняты из рисунка. В нижней части изображена траектория движения планеты на небе, показывающая, как планета делает петлю, а в верхней части видно, что эта петлю кажущаяся, обусловленная тем, что Земля планету догоняет и перегоняет, или же наоборот, планета догоняет и перегоняет Землю.

В движении планет вокруг Солнца выделяют синодический и сидерический периоды обращения.

*Синодический период обращения (S)* планеты — промежуток времени между её двумя последовательными одноименными конфигурациями.

*Сидерический или звёздный период обращения (T)* — промежуток времени, в течение которого планета совершает один полный оборот вокруг Солнца по своей орбите.

Сидерический период обращения Земли называется звёздным годом ( $T_3$ ).

Угловое перемещение по орбите за сутки у планеты  $= 360/T$ , а у Земли  $= 360/T_3$ . Разность суточных угловых перемещений планеты и Земли есть видимое смещение планеты за сутки, т.е.  $360/S$ .

Получаем для нижних планет

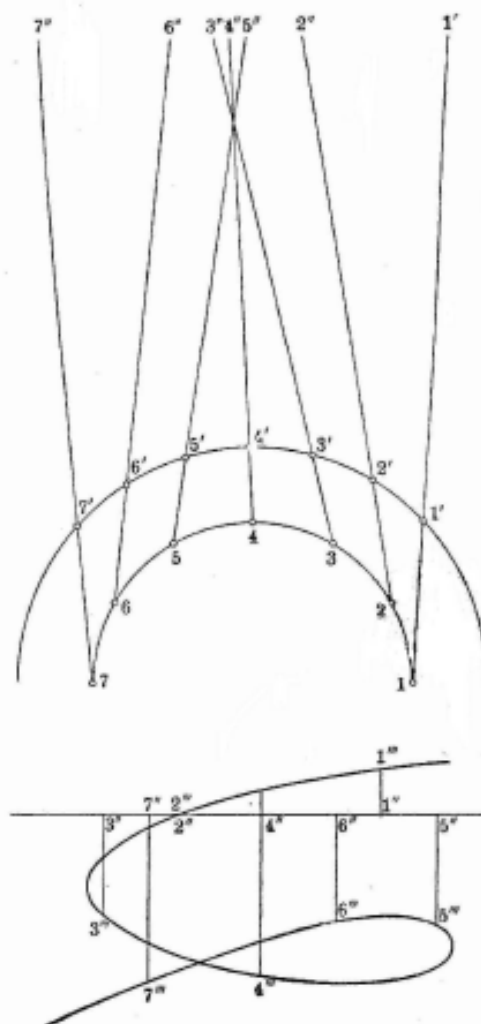


Рис. 7

Прямое и попятное движение планеты



$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_k}$$

Для верхних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_k} - \frac{1}{T}$$

Это уравнения синодического движения.

Непосредственно из наблюдений могут быть определены только синодические периоды обращений планет  $S$  и сидерический период обращения Земли. Сидерические же периоды обращений планет вычисляются по уравнению синодического движения.

Продолжительность сидерического периода Земли, или звёздного года равна 365,256 средних солнечных суток.

Взаимное расположение планет легко устанавливается по их гелиоцентрическим эклиптическим координатам, значения которых на различные дни года публикуются в астрономических календарях-ежегодниках, в таблице под названием "Гелиоцентрические долготы планет".

Центром этой системы координат является центр Солнца, а основным кругом — эклиптика, полюсы которой  $\Pi$  и  $\Pi'$  отстоят от нее на  $90^\circ$ .

Большие круги, проведенные через полюсы эклиптики, называются кругами эклиптических широт, и по ним отсчитывается от эклиптики гелиоцентрическая широта  $b$ , которая считается положительной в северном эклиптическом полушарии и отрицательной — в южном эклиптическом полушарии небесной сферы.

Гелиоцентрическая долгота  $l$  отсчитывается по эклиптике от точки весеннего равноденствия против часовой стрелки до основания круга широты светила и имеет значения в пределах от 0 до  $360^\circ$ . Из-за малого наклона орбит больших планет к плоскости эклиптики эти планеты всегда находятся вблизи эклиптики, и в первом приближении можно считать их гелиоцентрическую широту  $b = 0$ . Тогда положение планеты относительно Солнца определяется лишь одной ее гелиоцентрической долготой.

По гелиоцентрической долготе планет легко вычислить дни (даты) наступления различных конфигураций. Пусть в некоторый день года  $t_1$  гелиоцентрическая долгота верхней планеты есть  $l_1$ .

Гелиоцентрическая долгота Земли —  $l_{01}$ ,  $n$  — средняя суточная



Рис. 8

Гелиоцентрические долготы планет



угловая скорость планеты,  $n_0$  — средняя суточная угловая скорость Земли. Верхняя планета движется вокруг Солнца медленнее Земли ( $n < n_0$ ), Земля догоняет планету, и в какой-то день года  $t_2$ , при гелиоцентрической долготе планеты  $l_2$  и Земли  $l_{02}$ , наступает искомая конфигурация планеты.

При этом  $l_2 = l_1 + n(t_2 - t_1) = l_1 + n\Delta t$ .  $l_{02} = l_{01} + n_0(t_2 - t_1) = l_{01} + n_0\Delta t$ .

Откуда, обозначив  $l_2 - l_1 = \Delta l$ ,  $l_{02} - l_{01} = \Delta l_0$ ,  $n_0 - n = \Delta n$ , получим

$$\Delta t = \frac{\Delta l_0 - \Delta l}{\Delta n} = \frac{1}{\Delta n}.$$

Тогда  $t_2 = t_1 + \Delta t$ .

Аналогично вычисляются дни наступления конфигураций нижних планет с учетом того, что нижняя планета движется быстрее Земли.

Наглядно продемонстрировать и проверить расчет момента конфигураций планет можно с помощью модели Солнечной системы. Модель позволяет также осуществить проверку 3-го закона Кеплера.

Планеты на модели располагаются на расстояниях, пропорциональных действительным. Относительные размеры планет также соответствуют действительным.

На поверхности крышки прибора крепятся две шкалы:

— временная, с указанием месяцев года, с ценой деления 5 дней.

— гелиоцентрическая долгот, с ценой деления  $5^\circ$ .

Работа прибора основана на воспроизведении гелиоцентрических движений планет, что позволяет проводить демонстрации движений планет с сохранением их относительных синодических и сидерических периодов обращения.

Включая и выключая двигатель, можно определить взаимное расположение планет и их конфигурации в последующие моменты. При этом следует сравнить данные, получаемые на модели, с данными в астрономическом календаре - ежегоднике.

Рассмотрим, например, работу с прибором при проверке уравнения синодического движения для Марса:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_s} - \frac{1}{T} \quad \text{или} \quad S = \frac{T \cdot T_k}{T - T_k}.$$

Для этого, установив Марс в противостоянии с Землей, например на 1 января, включают двигатель и выключают его в тот момент, когда Марс сделает один оборот, т.е. займет прежнее положение. За один оборот Марса Земля делает 1 оборот + 321 сутки и остановится на дате 17 ноября, т.е.  $365 + 321 = 686$  суток. Следовательно, сидерический период Марса равен 686 земных суток, или 1,88 года.

Далее включают двигатель и следят, когда Марс вновь будет в противостоянии; в этот момент двигатель выключают. Это должно произойти 19 февраля, Земля к этому времени повернется на  $(2 \times 365 + 50) = 780$  суток, что соответствует синодическому периоду Марса.

Подставив данные в формулу из уравнения синодического движения, убеждаемся в ее справедливости. Эту же проверку можно осуществить с помощью секундомера, отмечая предварительно время одного оборота Земли, Марса, а затем синодический период. При этом за единицу времени следует брать время оборота Земли.

Аналогично проверяется 3-й закон Кеплера. Расстояния до планет измеряются линейкой, за единицу принимается расстояние от Земли до Солнца.

## Порядок выполнения работы:

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
<b>I часть</b> <i>Решите задачи</i>	<p>1. Синодический период обращения воображаемой планеты составляет 3 года. Каков звездный период её обращения вокруг Солнца?</p> <p>2. Вычислить перигельное и афелийное расстояния планет Сатурна и Нептуна, если их средние расстояния от Солнца равны 9,54 а. е. и 30,07 а. е., а эксцентриситеты орбит— 0,054 и 0,008.</p> <p>3. Как велико расстояние от Солнца до малой планеты, период обращения которой вокруг Солнца составляет 8 лет?</p> <p>4. Чему равен горизонтальный параллакс Марса, когда эта планета находится ближе всего к Земле (0,378 а.е.)</p> <p>5. Какое расстояние от Венеры до наблюдателя, если ее угловой размер равен <math>1'</math>, а линейный размер (диаметр) составляет 12200 км.?</p>	<p>1. Какая из двух планет — Нептун (<math>a = 30,07</math> а.е., <math>e = 0,008</math>) или Плутон (<math>a = 39,52</math> а. е., <math>e=0,253</math>) — подходит ближе к Солнцу? В скобках даны большая полуось и эксцентриситет орбиты планеты.</p> <p>2. Как часто повторяются противостояния Марса, сидерический период которого 1,9 года?</p> <p>3. Наименьшее расстояние Венеры от Земли равно 40 млн. км. В этот момент ее угловой радиус равен <math>16,2''</math>. Определить линейный радиус этой планеты.</p> <p>4. Чему равен горизонтальный параллакс Венеры в момент нижнего соединения, если горизонтальный параллакс Солнца равен <math>8,8''</math>, а расстояние от Солнца до Венеры составляет 0,7 а.е.</p> <p>5. Астероид Веста совершает полное обращение вокруг Солнца за 3,63 года. Во сколько раз в среднем он отстоит дальше от Солнца, чем Земля?</p>	<p>1. Чему бы равнялся синодический период обращения планеты, звездный период обращения которой вокруг Солнца составлял бы 370 сут.?</p> <p>2. Определить афелийное и перигелийное расстояние для Сатурна. Эксцентриситет считать равным 0,1; большую полуось – равной 9,5 а.е.</p> <p>3. За какое время Марс, находящийся от Солнца примерно в полтора раза дальше, чем Земля, совершает полный оборот вокруг Солнца?</p> <p>4. Зная горизонтальный параллакс Луны (<math>57' 02''</math>) и экваториальный радиус Земли (6378 км), найти расстояние от Земли до Луны.</p> <p>5. В момент противостояния Юпитера он удален от Земли на 628 млн.км.; угловой радиус его тогда равен <math>23,6''</math>. Определите линейный радиус Юпитера.</p>
<b>II часть</b> <i>Ответьте на вопросы</i>	<p>1. Укажите, какие планеты являются внутренними.</p> <p>2. В какой конфигурации могут быть и внутренние, и внешние планеты?</p> <p>3. Дайте определение элонгации</p> <p>4. 3 закон Кеплера</p>	<p>1. Укажите, какие планеты являются внешними.</p> <p>2. Во время каких конфигураций хорошо видны внутренние планеты?</p> <p>3. Дайте определение противостояния</p> <p>4. 2 закон Кеплера</p>	<p>1. По каким орбитам вращаются планеты?</p> <p>2. Во время каких конфигураций хорошо видны внешние планеты?</p> <p>3. Дайте определение квадратуре</p> <p>4. 1 закон Кеплера</p>

**III часть**

*Сделайте вывод о проделанной работе*



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

**Цель работы:** изучение физической природы Солнца.

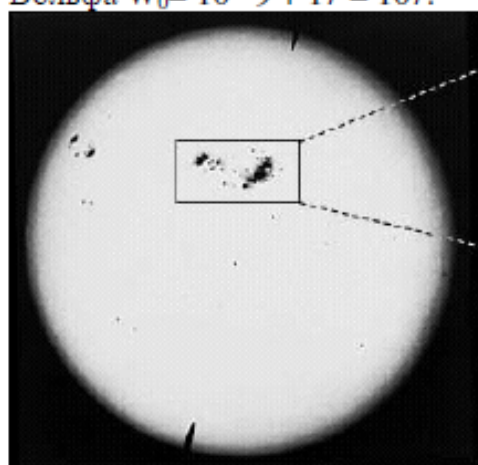
**Пособия:** фотографии Солнца, палетка солнечных пятен, фотографии солнечных протуберанцев.

#### *Основные теоретические сведения*

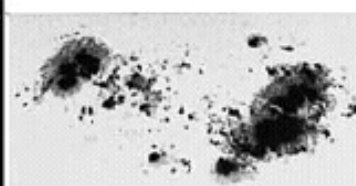
Солнечная активность характеризуется различными факторами, и одним из них является пятнообразовательная деятельность Солнца, которая изучается статистическими методами. Статистика солнечных пятен сводится к подсчету числа  $g$  групп пятен и числа всех пятен  $f$ , включая входящие в группы и одиночные пятна, причем, каждое пятно в общей полутени и каждая пара принимается в этом случае за отдельное пятно, а каждое отдельное пятно или пара за самостоятельную группу. По результатам подсчетов вычисляется относительное число пятен  $W_0$ , называется числом Вольфа:

$$W_0 = 10 \cdot g + f. \quad (1)$$

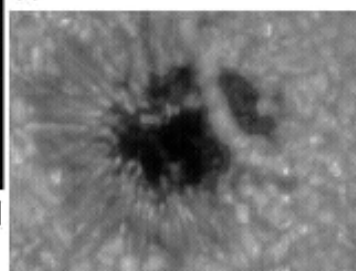
Так, если на солнце имеется две группы пятен, одна из которых содержит четыре пятна, а другая — шесть пятен и, кроме того, имеется семь отдельных пятен и пар, то число групп  $g = 2 + 7 = 9$ , число пятен  $f = 4 + 6 + 7 = 17$  и число Вольфа  $W_0 = 10 \cdot 9 + 17 = 107$ .



Солнечные пятна



(a)



(b)

Статистическому изучению подвергается также площадь пятен, которая оценивается в миллионных ( $10^{-6}$ ) долях площади солнечного диска по шкале специальной палетки диаметром 100 мм, накладываемой на фотографию Солнца, причем площадью пятна считается площадь, ограниченная его полутенью, а полутенью группы — сумма площадей пятен,

ограниченная его полутенью, а полутенью группы — сумма площадей пятен,

входящих в нее. Так как форма пятен, расположенных на периферии солнечного диска, искажается, то их площадь оценивается шкалой, соответствующей наибольшему видимому их диаметру.

Зная угловой  $D'$  и линейный  $D_{\odot}$  диаметры Солнца, можно по диаметру  $D$  его фотографии (в мм) установить угловой  $\mu'$  и линейный  $\mu$  масштабы фотографии:

$$D = \Delta\lambda / \Delta l; \quad \mu' = D' / D; \quad \mu = D_{\odot} / D, \quad (2)$$

по которым вычислить угловые  $l'$  и линейные  $l$  размеры солнечных пятен и их групп. Площадь этих образований в  $\text{км}^2$  подсчитывается по шкале палетки, при известной площади солнечного диска в тех же единицах измерения.

Солнечная активность характеризуется также интенсивностью протуберанцев, высота выбросов которых может быть измерена на фотографиях и затем вычислена в радиусах Солнца  $R_{\odot}$  или в километрах. Скорость выброшенного вещества все время изменяется под действием магнитного поля Солнца и его пятен, солнечного поля тяготения и давления солнечного электромагнитного излучения, и поэтому определение скорости протуберанцев представляет довольно сложную задачу. Однако эту задачу можно решить с некоторым приближением. Пусть в последовательные моменты времени  $T_1$  и  $T_2$  высота протуберанца была  $h_1$  и  $h_2$ , а скорость его вещества на высоте  $v_1$  и  $v_2$ . Тогда на участке пути  $h_2 - h_1$  средняя скорость вещества протуберанца:

$$v_{\text{cp}} = (h_2 - h_1) / (T_2 - T_1) = \Delta h / \Delta t. \quad (3)$$

Высоту  $h_1$  и  $h_2$  протуберанца измеряют по фотографии, на которой указаны и моменты фотографирования. Скорость протуберанца выражается в  $\text{км} / \text{с}$ .

Общее излучение Солнца легко подсчитать по Солнечной постоянной  $C = 1,388 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ . Сфера, радиусом  $a_0 = 1$  а.е. получает в течении 1 с всю излучаемую Солнцем за этот же интервал времени энергию  $E = 4 \cdot \pi \cdot a_0^2 \cdot C$ .

Откуда нетрудно вычислить мощность солнечного излучения (количество энергии, излучаемой Солнцем за 1с) и годовое излучение Солнца, а затем определить ежесекундное и годовое уменьшение  $\Delta m$  массы Солнца, поскольку излучаемая энергия:

$$E = c^2 \cdot \Delta m,$$

где  $c$  — скорость света.

Главным источником излучаемой Солнцем энергии являются ядерные процессы превращения водорода в гелий, происходящие в недрах Солнца. Если известно, сколько энергии  $\epsilon$  выделяется при превращении каждого грамма водорода в гелий ( $\epsilon$ ), то, поскольку в настоящую эпоху примерно 70% солнечной массы составляет водород, можно подсчитать продолжительность времени, на протяжении которого Солнце будет излучать энергию интенсивно, как излучает в настоящее время при условии постоянства интенсивности излучения.

Радиус Солнца — 696 000 000 м.

## Порядок выполнения работы:

### Работа с ПК

1. Откройте сайт <http://soho.nascom.nasa.gov> . Ознакомьтесь с разделами сайта.
2. Выберите на главной странице раздел date/archive.
3. Открыть в разделе "Near Real Time Images And Movies" подраздел "Search for SOHO Realtime images".
4. Заполнить "Search for SOHO Realtime images":
  - в "Image Type" выбрать "MDI Continuum";
  - в "Display": "image";
  - проставить даты начала и конца наблюдений или количество последних наблюдений.
5. Наблюдать за изменением положения Солнечных пятен в различные промежутки времени. Рассчитать число Вольфа.

Таблица 1

Число групп пятен $g$	Число пятен $f$	Число Вольфа $W$

6. Определить размеры наблюдаемого пятна.

Таблица 2

Линейный размер Солнца	Линейный размер пятна	Угловой размер Солнца	Угловой размер Пятна	Сравнение с радиусом Земли $R_{\oplus}$
		$\approx 30'$		

7. Сравнить размеры пятен с размером Земли.
8. Сделать вывод. Как бы вы сформулировали результаты наблюдения явления?

### Контрольные вопросы:

1. Каков источник энергии излучения Солнца? Какие изменения с его веществом происходят при этом?
2. Какими способами осуществляется перенос энергии из недр Солнца наружу?
3. Какие проявления солнечной активности наблюдаются в различных слоях атмосферы Солнца? С чем связана основная причина этих явлений?
4. Чем объясняется понижение температуры в области Солнечных пятен?
5. Какие явления на Земле связаны с солнечной активностью?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная учебная литература:

1. Воронцов-Вельяминов Б. А. Астрономия: Учебник / Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. К. Страут. - М.: Дрофа, 2017. - 240с. - URL: <https://drofa-ventana.ru/product/astronomiya-11-klass-uchebnik-voroncov-veljyaminov/>

### Дополнительная учебная литература:

1. Гусейханов М. К. Основы астрономии Учебное пособие [Электронный ресурс] / М. К. Гусейханов - СПб.: Лань, 2017. - 152 с. - URL: <http://e.lanbook.com/book/93767>